

La simulation mécanique non linéaire pour la conception des cellules d'électrolyse à Haute température (EHT)

MOISE :
Projet ANR
ANSYS
AREVA
CEA LITEN,
INPG SIMAP,
INPG LEPMI

Rapporteur
Pierre LOUAT, ANSYS France

Agenda

- **Présentations des partenaires du projet**
- **Le projet :**
 - Principes physiques et mécaniques
 - Description des objectifs techniques
- **Les non linéarités :**
 - Approche multi échelle
 - Approche multiphysique
 - L'analyse paramétrique du modèle
 - Approche HPC multi cœur /conséquences
- **Conclusion**

Partenaires du projet MOISE



ANR-07-PANH-009



MOISE MOdélisation Intégrale de motifS élémentaires d'Electrolyseur haute température

Simulation multiphysique du fonctionnement d'un EHT

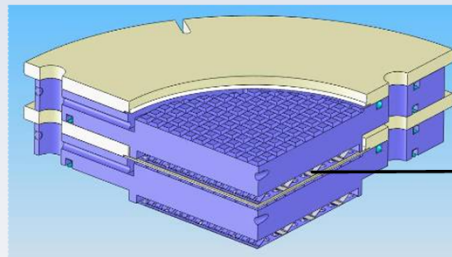
Le but du projet ANR MOÏSE est de pouvoir simuler le fonctionnement d'électrolyseurs haute température et d'optimiser leur architecture. Pour cela, une méthodologie est développée et associée à un outil de modélisation numérique, l'ensemble constituant un environnement logiciel appelé plateforme MOÏSE

Enjeux

- **Horizon 2030 2050 :**
 - Utilisation massive H₂
- **Il faut être en capacité de produire ce volume d'H₂**
- **Efficacité (Rendement) de l'électrolyse Haute Température EHT**
- **Point de départ :**
 - Une cellule (le projet)
- **Ultérieurement : Empilement de plusieurs centaines/milliers de cellules**

Objectifs

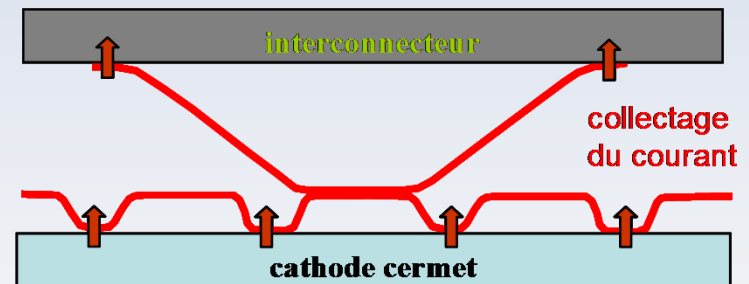
- ▶ Avoir une **compréhension des phénomènes élémentaires** (et de leurs couplages) impliqués dans le fonctionnement d'un EHT
- ▶ Établir une démarche **de dimensionnement et d'optimisation** d'EHT s'appuyant sur des outils de simulation adaptés



Architecture EHT (CAO)



Éléments de souplesse
(serrage à dépl. imposé)



➤ **Couplage électrique-mécanique-thermique**

Objectifs

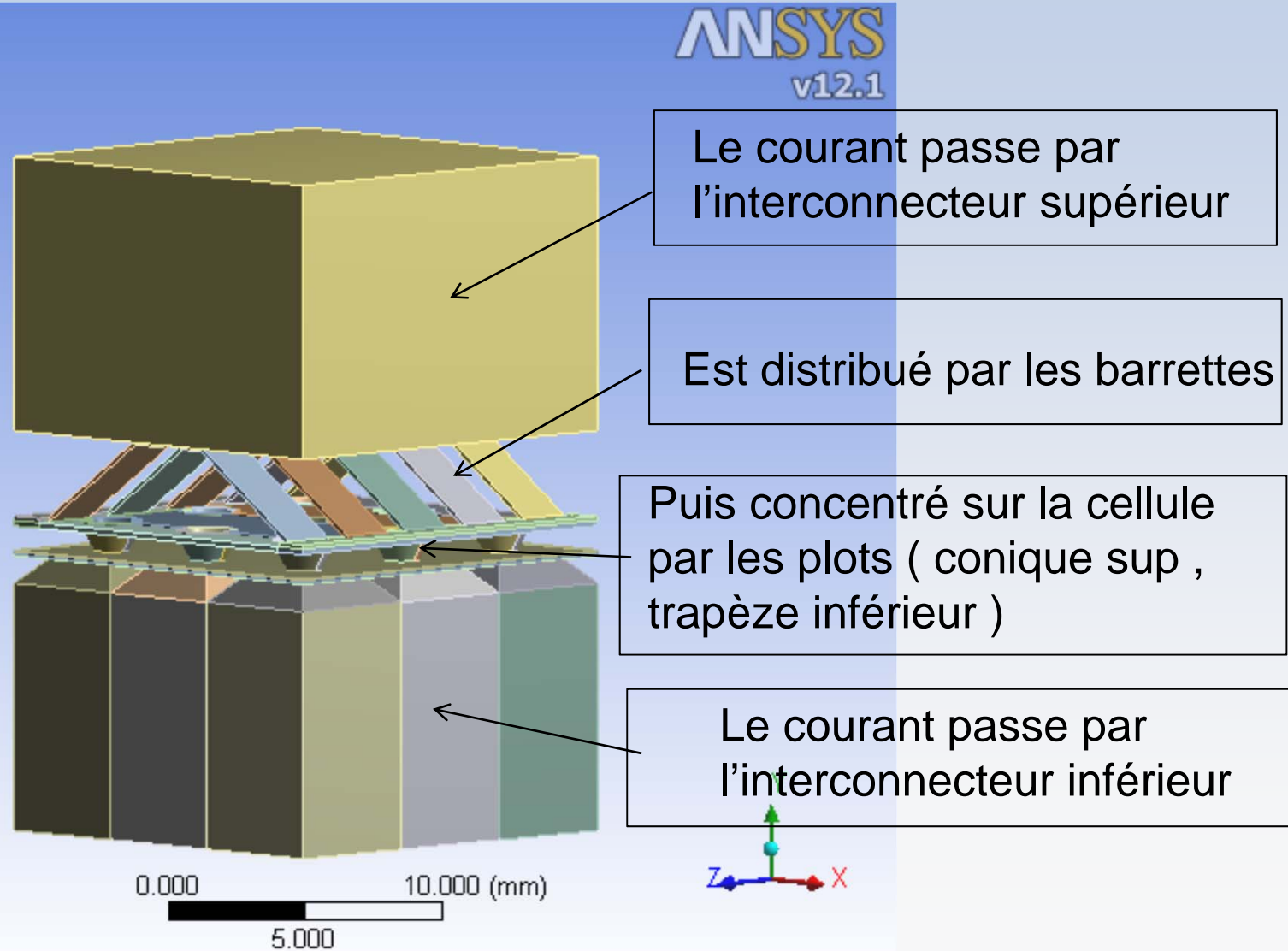
▶ Défis scientifiques et techniques :

- ◆ Développer des modèles physiques (électrochimie, résistance de contact...)
- ◆ Développer/Mettre en place une chaîne de simulation
 - complète : CAO \Rightarrow résultats \Rightarrow optimisation
 - multi-physique : thermomécanique \Leftrightarrow fluide \Leftrightarrow électrochimie

▶ Résultats majeurs escomptés :

- ◆ Proposer un outil opérationnel pour la conception des EHT
- ◆ Etablir un ensemble de recommandations pour l'utilisation de cet outil

Principes physiques et mécaniques



Principes physiques et mécaniques

Effet recherché :

distribution et maîtrise du courant
(production H₂):

Présence de multiples zones de contacts
(mécaniques et électriques) entre pièces
constituées de différents matériaux

Effet de plaquage par déplacement imposé
initial des lames ressorts pour permettre le
passage du courant

Effet à contrôler :

Relaxation de la pression de contact du
au fluage

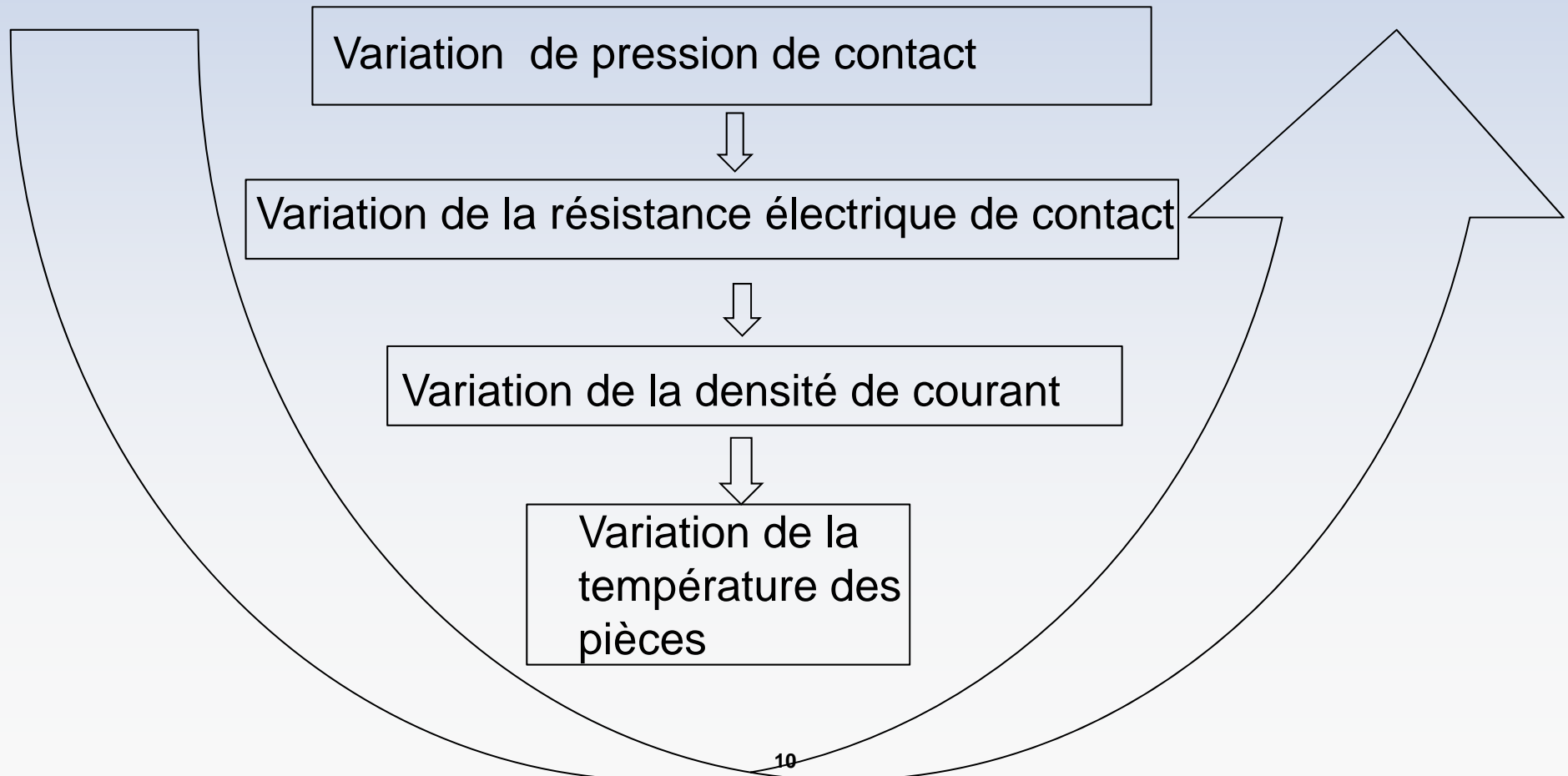


Les non linéarités

- **Du modèle mécanique :**
 - Multiples zones de contact (frottement, glissement, décollement)
 - Matériau des barrettes élasto plastique (bilinéaire isotrope) avec fluage (Norton)
 - Grands déplacements, grands glissements
 - Instabilité thermomécanique de la cellule tri couche : Modes de flambage 0 diamètre (a vide + modes locaux (entre appuis coniques et trapèzes)

Les non linéarités

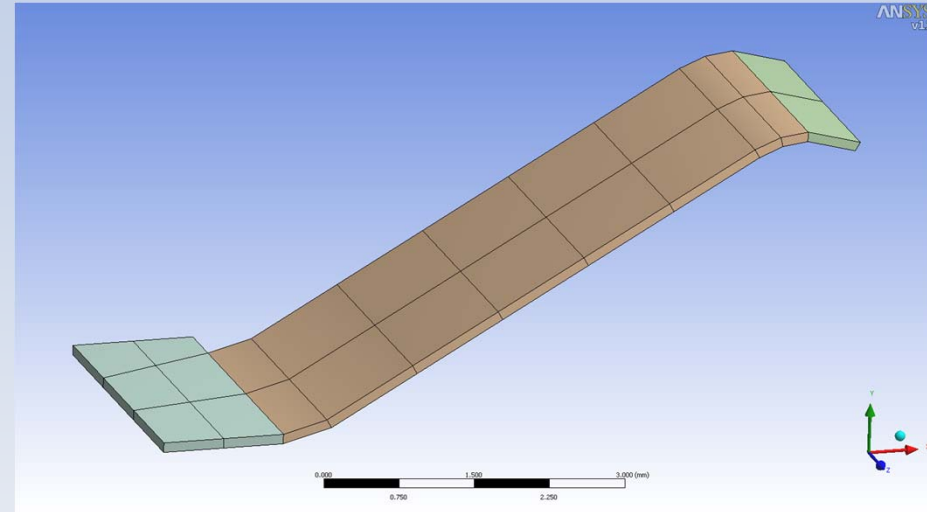
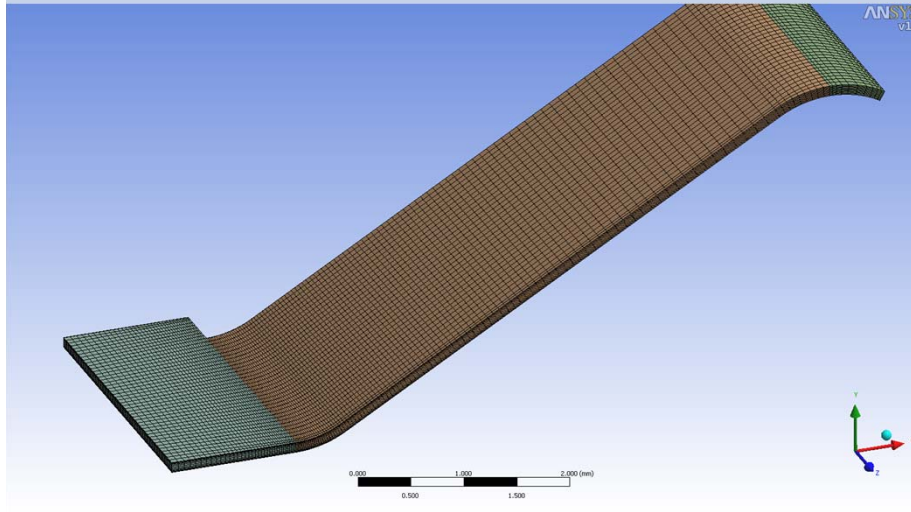
- **Du modèle multiphysique :**
 - Fluidiques et Electrochimiques (non détaillées)



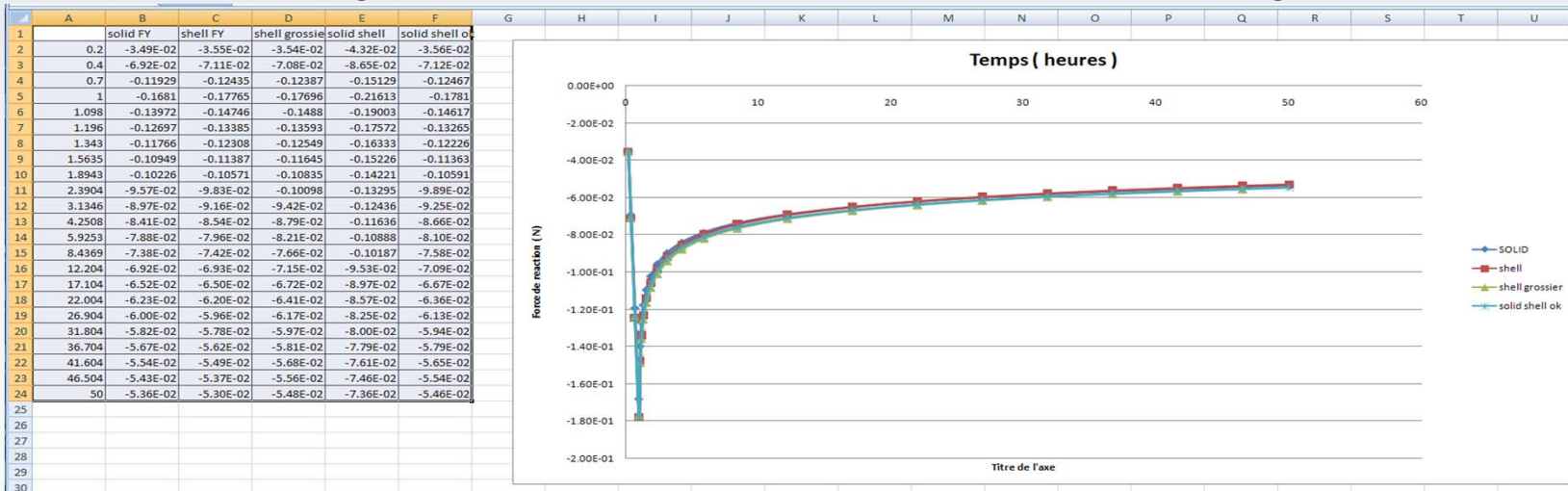
Simulation des lames ressort

750 000 ddl

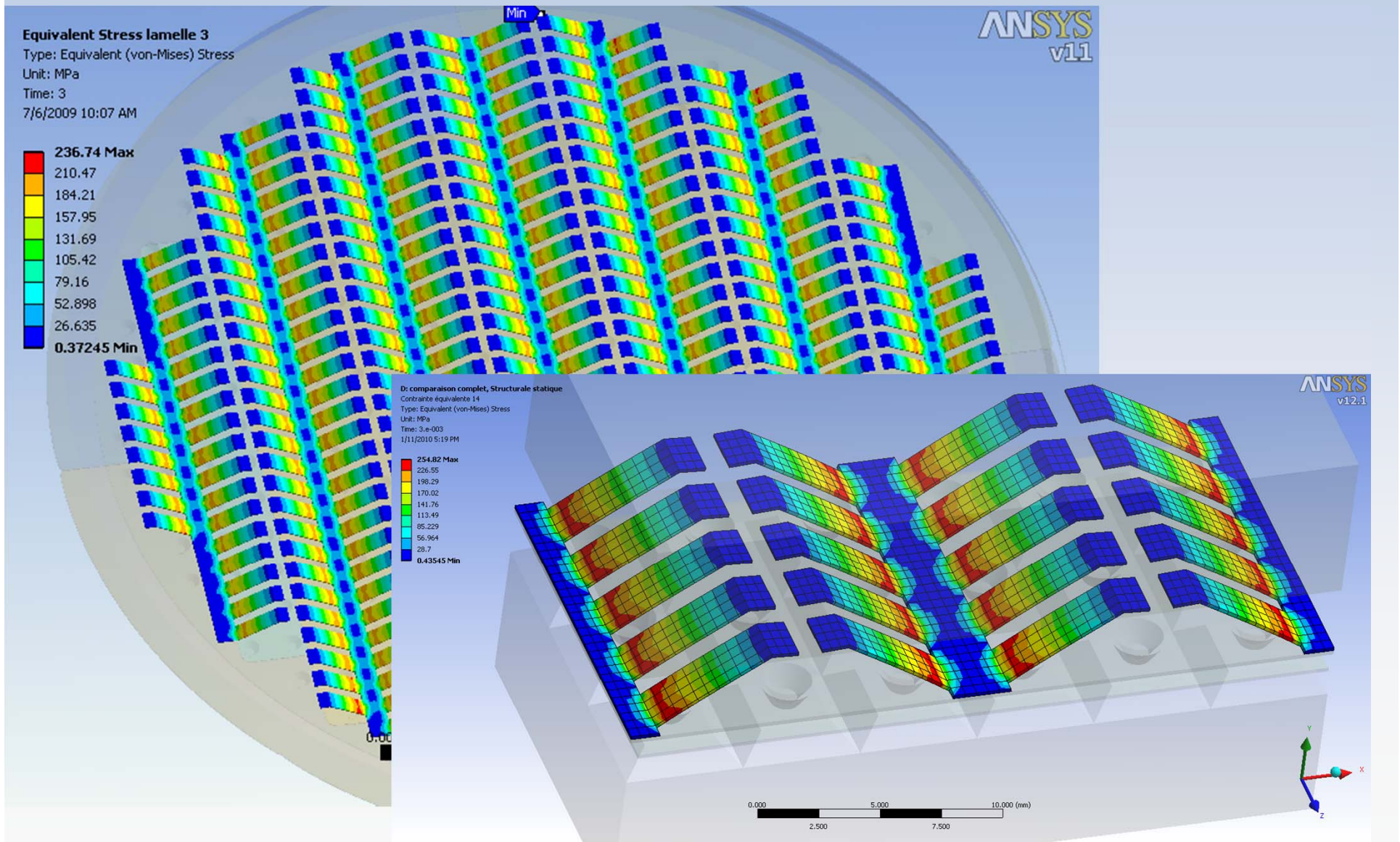
250 ddl



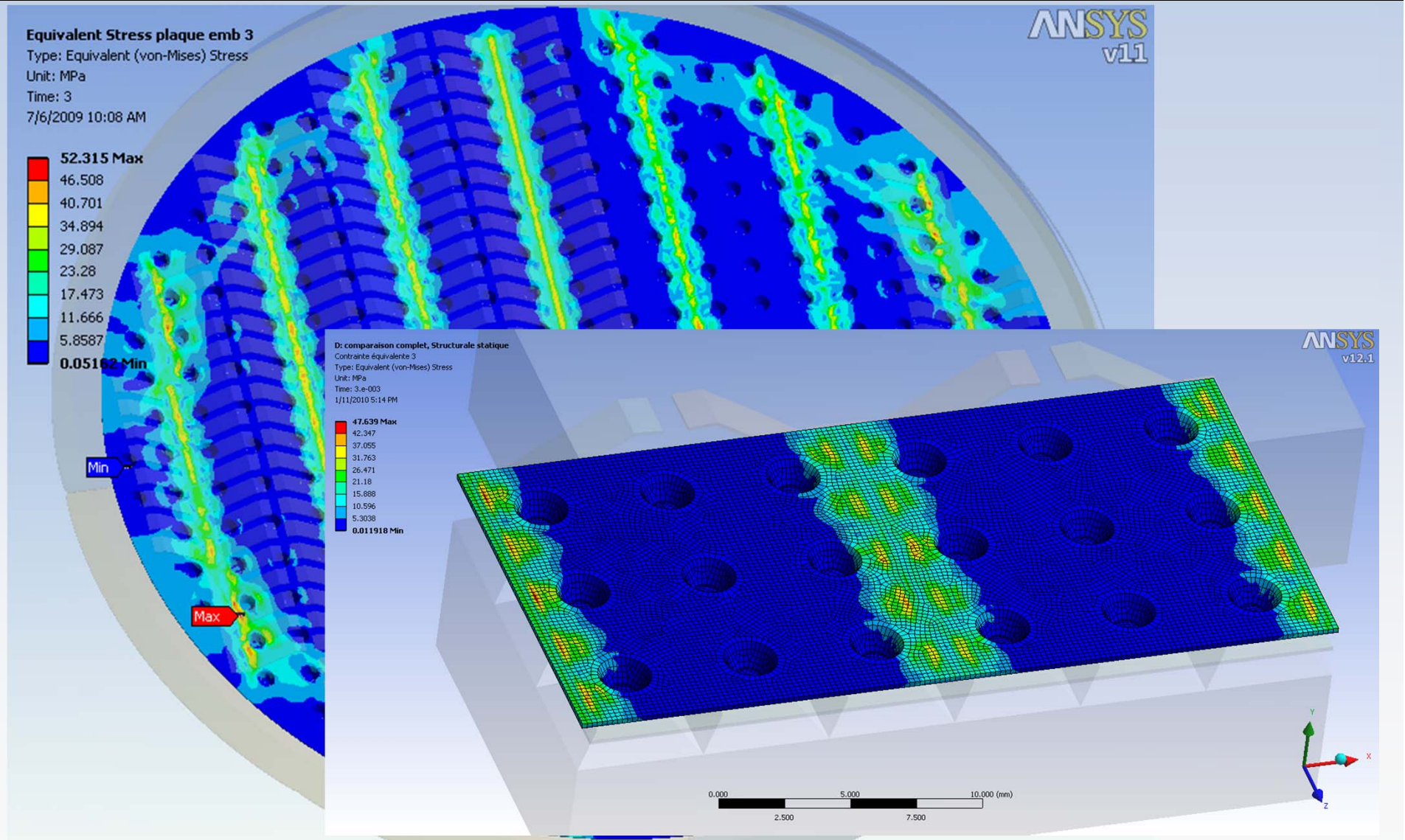
Plasticité + Fluage : excellente corrélation entre les modèles grossiers et fins



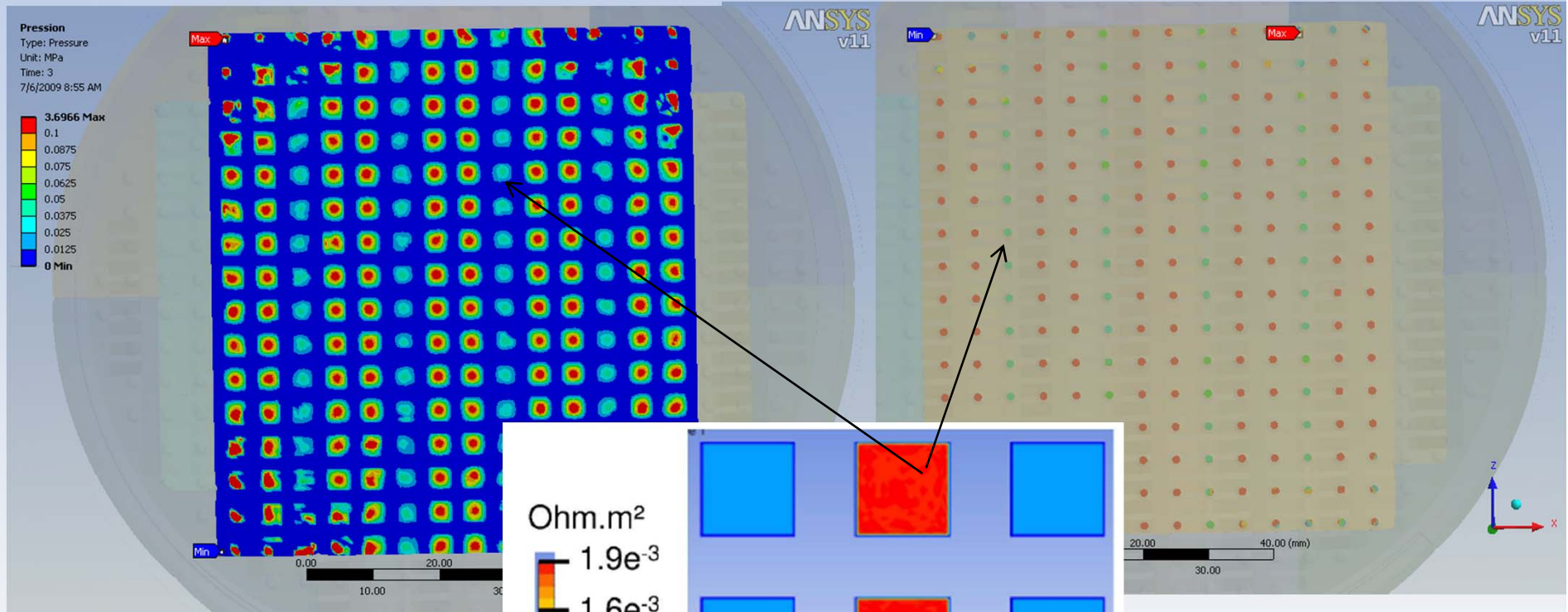
MOISE : modèles complet & 6x3



MOISE : modèles complet et 6x3



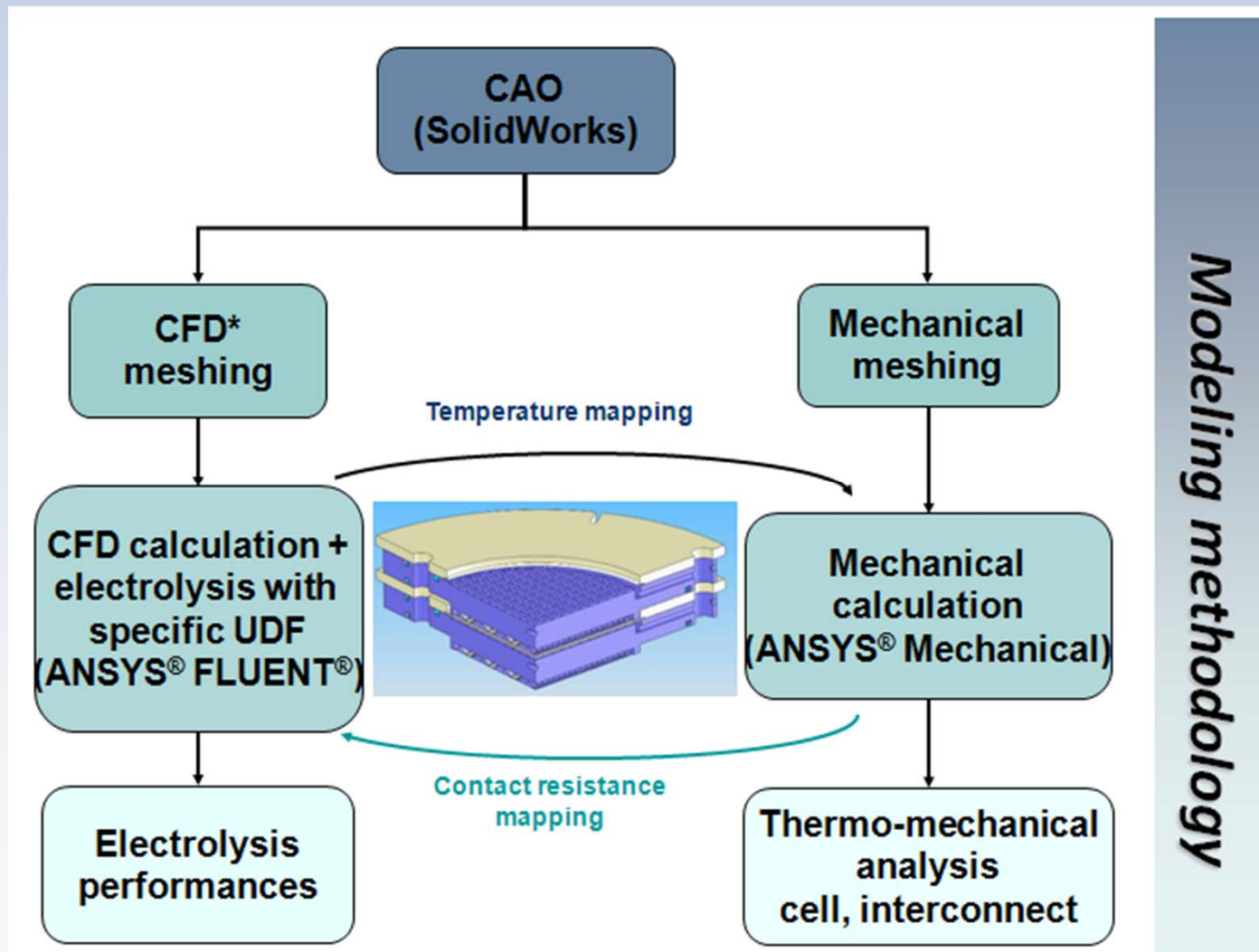
MOISE : Pression de contact



Pression de contact mécanique

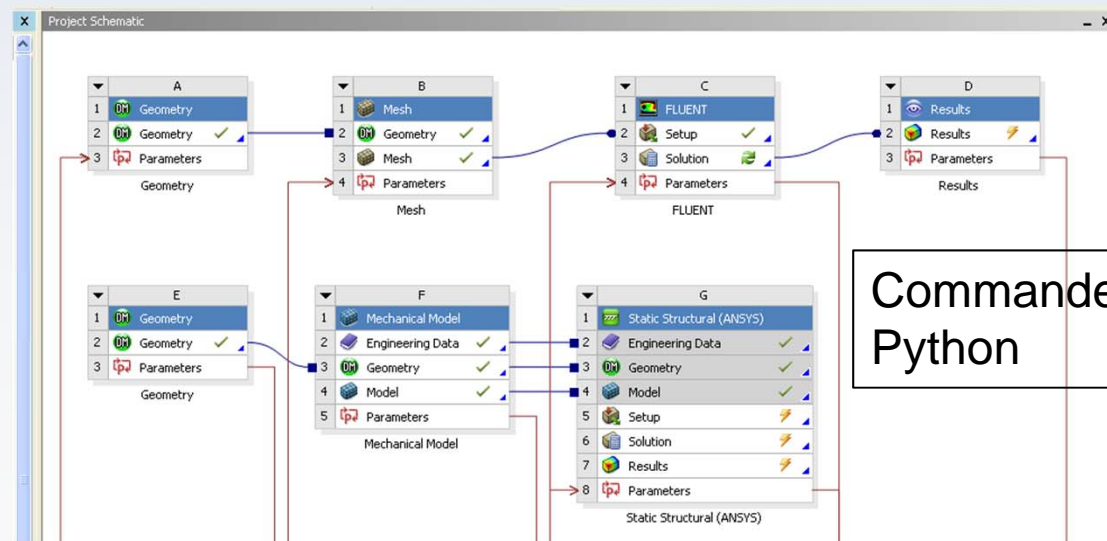
Résistance électrique de contact

Approche Multiphysique

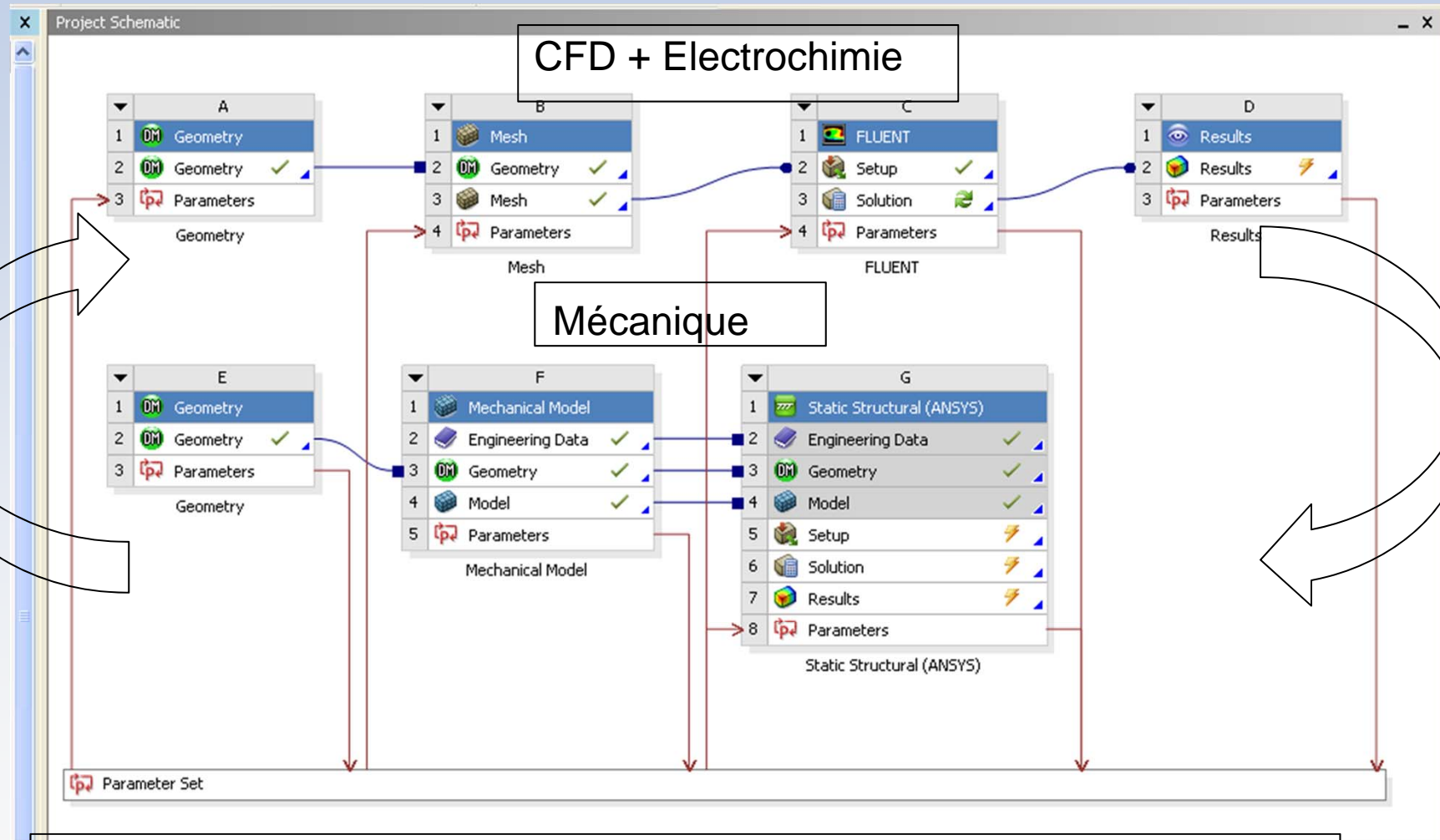


La plateforme de simulation : ANSYS/Workbench

- **Projet Workbench : Géométrie , Maillage, paramètres Géométriques et Physiques , Rapport automatique**
- **Utilisation des boîtes physiques Mechanical et Fluent + module Fuel Cell**
- **Le couplage Fluide/Structure disponible dans Workbench a été étendu pour prendre en compte le couplage avec l'électrochimie (routines Python).**

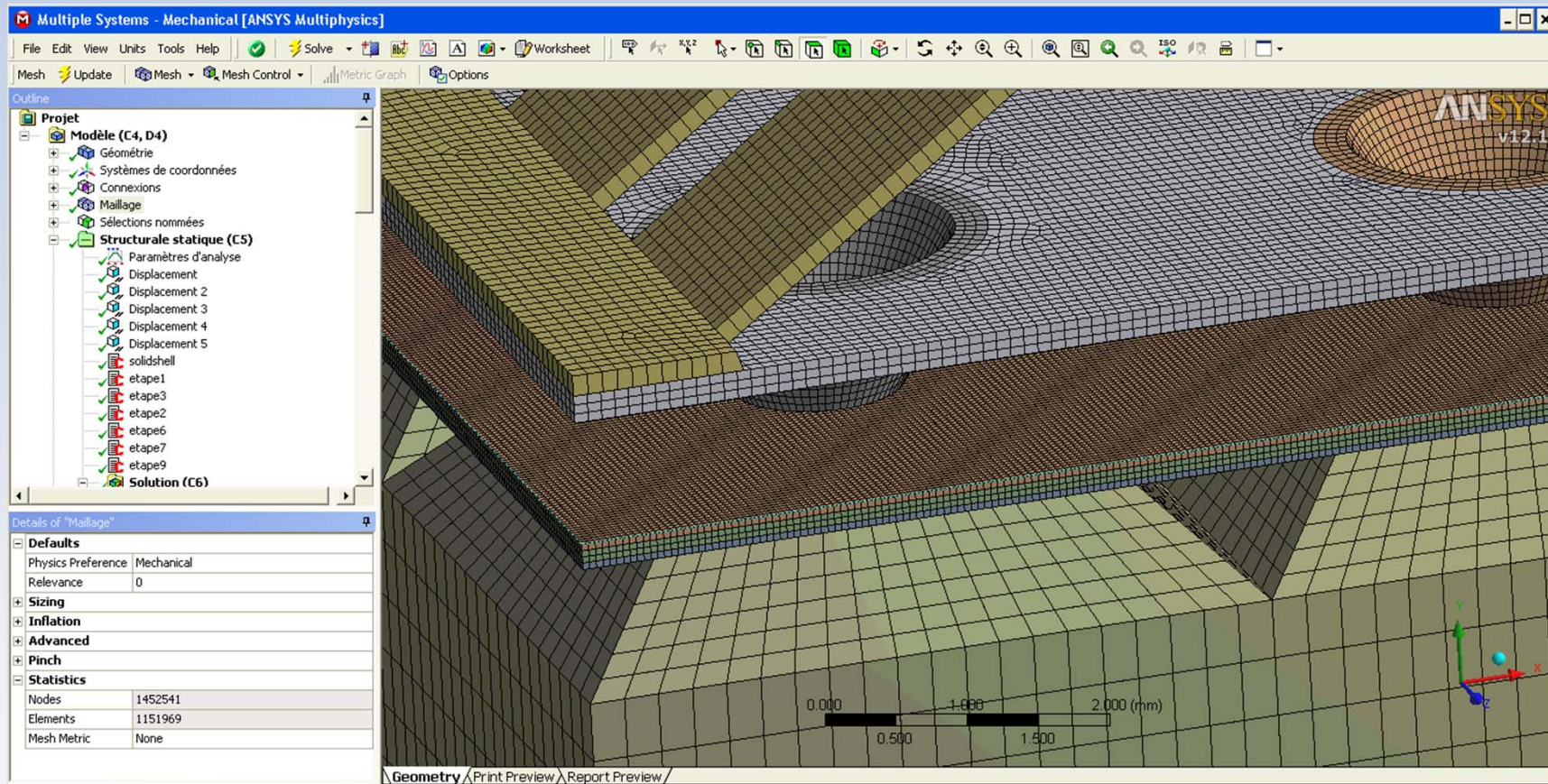


Multiphysique et Paramétrique



Le changement d'un paramètre provoque la mise à jour automatique de l'ensemble des boîtes

Temps de calcul : modèle fin



4.3 M dof , Large displacement, plasticity, creep, (> 100 000 frictional contact element) 116 iter cum en 48 heures Dell T7500 8 cœurs w5580

Temps de calcul sur PC :

- **Gain de temps en multi cœur sur un PC Desktop :**

DELL 7500 XP64 bit 92 Go v121

mode	incore	ddl	solveur	machine	nproc	CP	Elapsed	Mflop	IO rate	cum	scal Mflop	scal tot
Dist	yes	1.36 M	sparse	Corei I7		1	24749	6340	7607	46	1.05	1.07
						2	14353	12063	8898	46	2.01	1.85
						4	8838	18868	11883	45	3.14	3.00
						6	6711	32797	14271	46	5.45	3.96
						8	5271	38829	13453	45	6.45	5.04
SMP	yes		sparse			1	26490	26552	6016	46	1.00	1.00
						2	28981	15489	11196	46	1.86	1.71
						4	31748	9375	20133	46	3.35	2.83
						6	34614	7343	27600	46	4.59	3.62
						8	37525	6358	33487	46	5.57	4.18

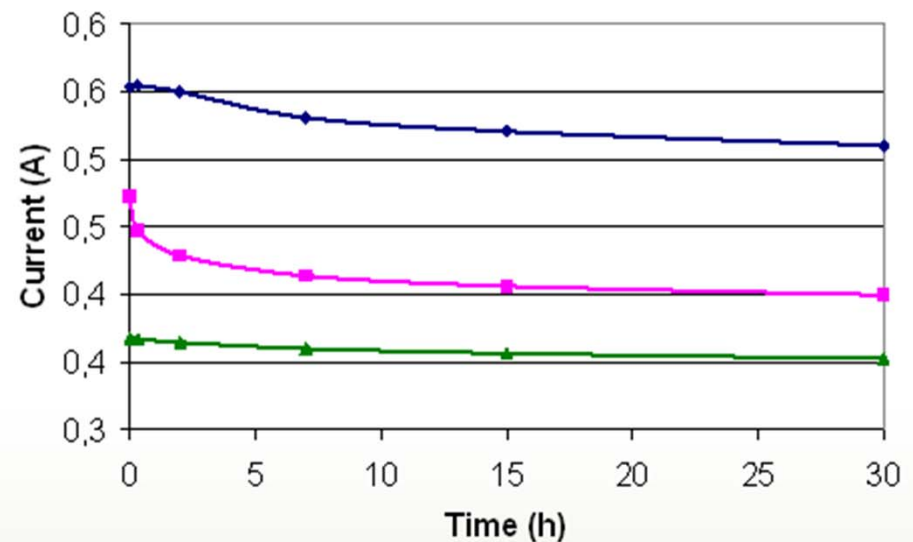
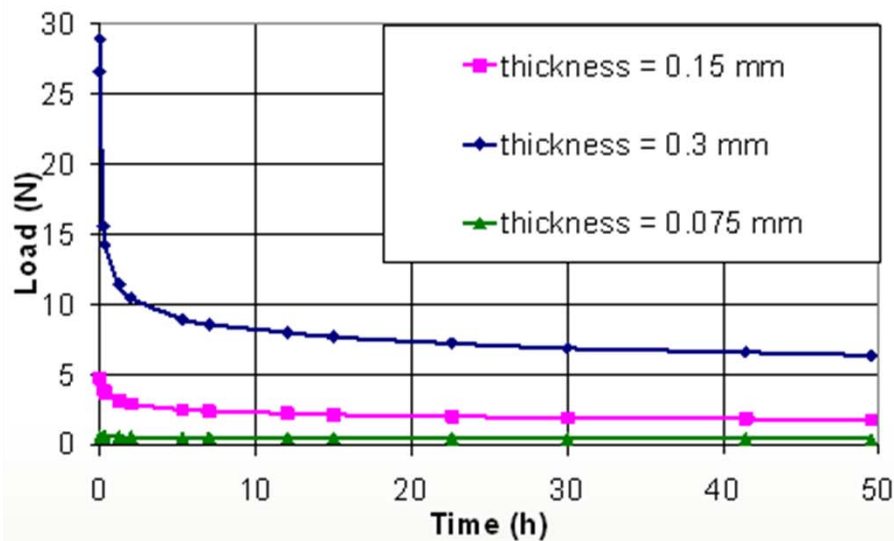
1.36 Mdof , Grand déplacement , plasticité, fluage, contact avec frottement)
 46 iter cum : accélération 5 x avec 8 cœurs (calculs réalisés en 01/2010)

Conséquence : Analyse de sensibilité possible sur PC

- **L'analyse d'un jeu de paramètre (simulation multiphysique) avec évolution de la résistance électrique de contact lié aux effets de relaxation est réalisée en quelques heures**
- **Possibilité de réaliser une étude paramétrique de quelques dizaines de points de conception (DP) design point**

Exemple : sensibilité épaisseur lame ressort

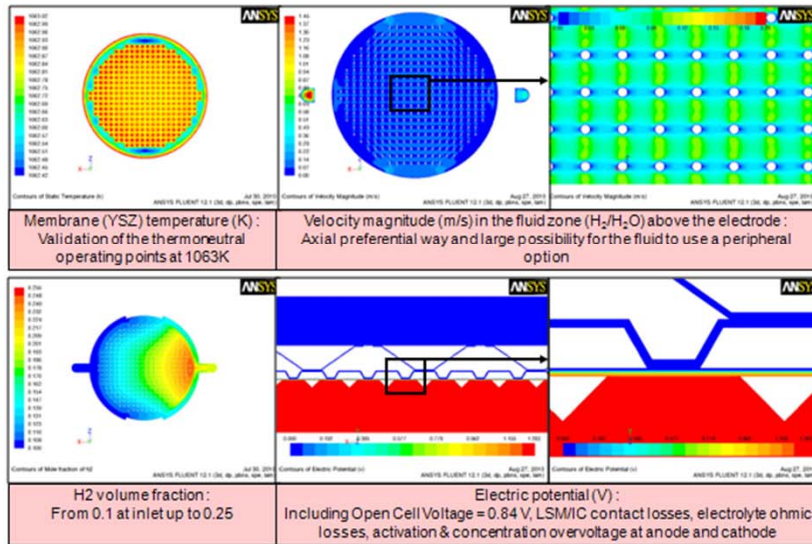
HTE performances for different flexible interconnect thicknesses



Identification de l'influence d'un paramètre mécanique avec le courant et la production d'H₂

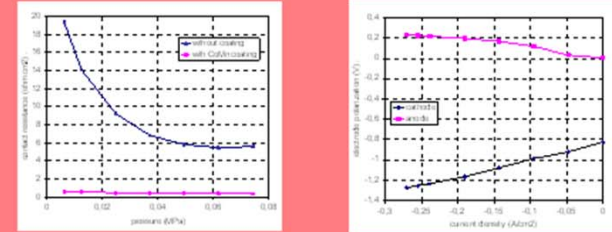
Validation de la plateforme simulation ANSYS / Workbench

Validation on a real HTE design (Jeremi)

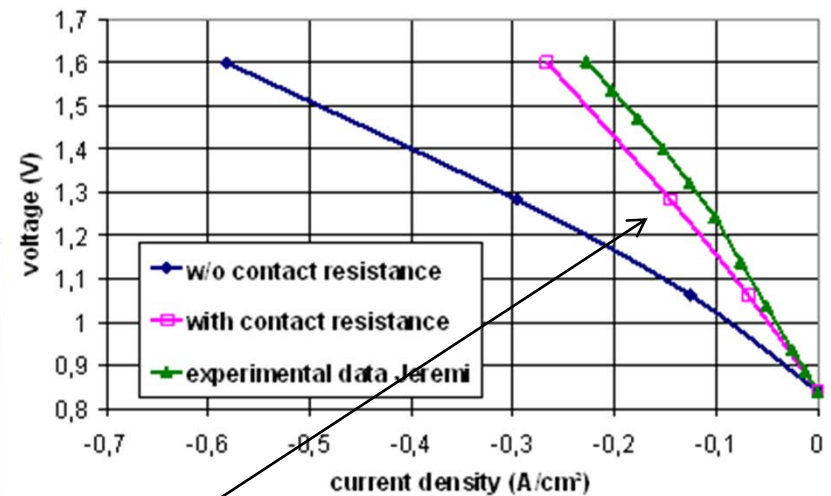


EHT modeling

Experimental input data



Polarization curve of the SRU



Bonne corrélation avec l'expérimentation

Conclusions :

Plateforme ANSYS/Workbench

- **Conception de motifs de base de l'électrolyseur EHT avec prise en compte :**
 - Des comportements matériaux incluant plasticité et fluage
 - De la relation résistance électrique de contact avec la pression de contact mécanique
 - Des autres effets couplés entre les physiques :
 - Mécanique, fluide et électrochimie
- Tous ces effets ont été utilisés pour la validation de la plateforme de simulation.
- **Le contact mécanique non linéaire est au cœur de cette problématique non linéaire et multiphysique**

Conclusions :

- **Etat de l'art dans le domaine (selon recherche biblio CEA):**
- **Première plateforme numérique pour la conception EHT qui intègre de manière paramétrique et multiphysique le couplage entre la pression de contact mécanique et les performances électriques (courant et production de H₂)**

Questions ?

- **Projet réalisé avec le soutien de l'ANR via le programme PAN'H**
- **Merci de votre attention**
- **Contact :**
pierre.louat@ansys.com

